

IDENTIFICAÇÃO DO TIPO DE MATERIAL POR SISTEMA DE VIBRAÇÃO EM BARRA FIXA-FIXA

IDENTIFICATION OF THE MATERIAL BY VIBRATION SYSTEM IN FIXED BAR

BENTES, Flavio Maldonado¹

Resumo: Este trabalho se resume na elaboração de um modelo de vibração composto de um sistema em barra fixa-fixa, com geometria especificada e com carga na sua parte central, de tal forma que seja possível determinar o módulo de elasticidade e , consequentemente, o tipo de material, a partir de simulações realizadas. Espera-se introduzir, a partir de conceitos de resistência dos materiais e vibrações mecânicas, uma metodologia que possa ser utilizada para melhor identificação de materiais.

Palavras-chave: vibrações mecânicas, identificação de material, simulação computacional.

Abstract: This work is summarized in the elaboration of a vibration model composed of a fixed-fixed bar system, with specified geometry and with load in its central part, in such a way that it is possible to determine the modulus of elasticity and, consequently, the type of material, based on simulations. It is hoped to introduce, from the concepts of resistance of materials and mechanical vibrations, a methodology that can be used for better identification of materials.

Keywords: mechanical vibrations, material identification, computational simulation

¹ Doutor em Engenharia Mecânica – COPPE/UFRJ – flavio.bentes@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A utilização de diferentes tipos de materiais na indústria é advinda da necessidade de fabricação de produtos com especificidades peculiares a um determinado processo produtivo.

De acordo com Nicoletti e Presoto (2018), nos países em desenvolvimento, como o Brasil, a Engenharia revela-se como fator vital para a ampliação da infraestrutura, para a solução de problemas de ordem econômica e social e para a melhoria na qualidade de serviços oferecidos para a sociedade como um todo.

A inovação é um conceito que vem adquirindo relevância na atualidade. A partir dos anos 90, diversos autores passaram a discutir as articulações das novas tecnologias informáticas e biológicas com os processos reprodutivos, o financiamento estatal e as condições ambientais, para dar alguns exemplos (Andrade, 2006; Maciel, 1996; Martins, 2003; Castells, 2003; Trigueiro, 2002; Latour, 2000).

Nesse contexto, a seleção de um tipo específico de material, que possua propriedades mecânicas satisfatórias e condizentes com o projeto é um fator decisivo que vai impactar diretamente na qualidade e no preço final do produto.

Pode-se dizer que, diante da utilização de uma grande variedade de materiais nos projetos de engenharia, novas metodologias para acesso às propriedades mecânicas dos materiais se fazem necessárias.

Guanabara (2010) afirma que estruturas de aço são largamente usadas em países desenvolvidos por propiciarem construções limpas e rápidas que geram mínima interferência no seu entorno. Ainda para o autor, elas são muito úteis para obras de infraestrutura, tais como aeroportos, estações de metrô e demais instalações que sejam essenciais para o bom funcionamento das cidades.

Lindbeck (1995) explicita seis principais propriedades que devem ser levados em consideração para a escolha de um material: físicas; químicas; térmicas; elétricas; acústicas e óticas.

Scheleski (2014) enfatiza que o estudo das características dos materiais é um ponto fundamental no esclarecimento do processo de seleção de materiais. Segundo o autor, para um projeto, os projetistas precisam de dados confiáveis para os materiais de engenharia e muitas vezes, novos materiais são descartados, devido à inexistência destes dados.

Conforme Rao (2014), instrumentos de medição de alta tecnologia permitem o desenvolvimento de métodos experimentais e, associados aos métodos computacionais, promovem consideráveis avanços no estudo de problemas vibratórios.

Sendo assim, pode-se definir vibrações mecânicas como movimento de uma partícula ou de um corpo que oscila em função de uma determinada posição de equilíbrio.

Segundo Correia (2007), um fenômeno de origem dinâmica caracteriza-se basicamente por uma solicitação variável no tempo, e porventura também no espaço, no qual as forças de inércia, produto da massa pela aceleração, têm uma influência significativa na resposta do sistema.

Para Cismas,iu (2009) uma vibração mecânica surge geralmente quando um sistema é deslocado da sua posição de equilíbrio estável. Em geral, quando o sistema tende voltar sob a ação de forças de restituição, ultrapassa esta posição. A repetição deste processo é chamada de movimento oscilatório.

Segundo Parreira (2009), a vibração consiste no movimento oscilatório em torno de uma posição em repouso. Manifesta-se sempre que ocorra uma força de excitação interna ou externa. Para ele, a amplitude de vibração é função da intensidade da força de excitação, da massa e rigidez do sistema e do amortecimento do sistema.

No entendimento de Piccolli (2010), o tema vibrações em sistemas mecânicos está presente em todas as indústrias seja em função de problemas que resultam de defeitos em projeto ou desgaste das máquinas ou de máquinas que utilizam os princípios vibratórios para operações produtivas.

Este trabalho propõe a identificação do tipo de material através de um sistema de vibração equiparado a uma barra com fixação nas extremidades (barra fixa-fixa) e geometria definida.

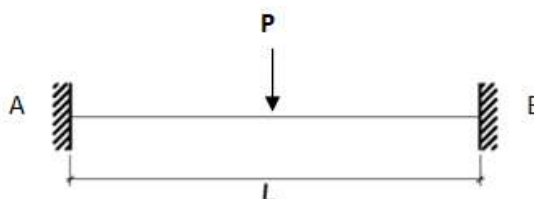
Considera-se viga fixa-fixa uma viga bi engastada com carga concentrada no centro. Sabe-se que a rigidez pode ser obtida por meio do cálculo da rigidez equivalente do sistema, que será diretamente proporcional ao módulo de elasticidade longitudinal (módulo de Young) e ao momento de inércia e inversamente proporcional ao cubo do comprimento da viga.

Sabe-se que a frequência natural de um sistema também está atrelada à rigidez e a massa do mesmo. Sendo assim, busca-se relacionar, a partir de valores de frequência natural conhecidos, uma relação matemática que possa modelar o sistema, de forma a podermos identificar o tipo de material por meio do cálculo do respectivo módulo de Young.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O problema estudado é analisado como uma viga bi engastada com carga aplicada no meio da estrutura, sendo considerado, portanto, um problema estaticamente indeterminado, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 11 - Modelagem do problema estudado.



Fonte: Autor

Conforme Beer *et al.* (2015), a expressão que fornece a curvatura de uma curva plana em um ponto $Q(x,y)$ é dada pela equação 1.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (eq. 1)$$

Como a declividade $\frac{dy}{dx}$ é muito pequena e é elevado à segunda potencia (quadrado) na equação 1, este valor pode ser desprezado, fazendo com que a equação 2 possa ser expressamente válida, pois $\frac{1}{\rho}$ será equivalente à $\frac{d^2y}{dx^2}$.

Dessa forma, para calcular a deflexão, é feita uma análise a partir da equação da linha elástica (equação 2), que é basicamente uma equação diferencial linear de segunda ordem, que rege o comportamento da linha elástica. (Beer *et al.*, 2015)

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \quad (eq. 2)$$

Pode-se utilizar, por exemplo, o método da dupla integração para o cálculo da deflexão na viga. Sendo assim, a deflexão em uma viga bi engastada pode ser obtida por meio da equação 3.

$$\delta = y = \frac{PL^3}{192EI} \quad (eq. 3)$$

Pode-se determinar, a partir da força elástica, o valor da rigidez equivalente de uma determinada estrutura. Sabe-se que a força é diretamente proporcional ao deslocamento por ela realizado, de tal forma que, no regime elástico, onde a Lei de Hooke é válida, pode-se determinar a rigidez equivalente do material, por meio da equação 4.

$$K_{eq} = \frac{192EI}{L^3} \quad (eq. 4)$$

A seção escolhida é retangular, que faz com que o momento de inércia seja obtido, por meio da equação 5.

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (eq.5)$$

A frequência natural de um sistema é calculada através da raiz quadrada da razão entre a rigidez e a massa, conforme a equação 6.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (eq.6)$$

Sendo assim, para um sistema onde $K_{eq} = K$, pode-se obter uma expressão a partir das equações 2 e 4, que nos permite obter o valor do módulo de elasticidade longitudinal em função da frequência natural, conforme apresentado por meio da equação 7.

$$E = \frac{\omega_n mL^3}{192 I} \quad (eq.7)$$

A partir da determinação do módulo de Young pode-se identificar o tipo de material empregado, uma vez que este é um valor característico, amplamente conhecido na literatura.

3 RESULTADOS

A modelagem do problema foi feita utilizando uma barra de 1 m de comprimento, bi engastada e com carga aplicada no centro, com seção retangular de 20 mm (0,02 m) de largura por 5 mm (0,005 m) de altura. Através da aplicação da equação 3, para o cálculo do momento de inércia foi obtido o valor de $2,083 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4$.

A massa pode ser obtida pelo produto do volume pelo peso específico. Como o chute inicial para a verificação do material foi o aço, foi feito o cálculo do volume da barra, que equivale a $1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$. Então, para um peso específico de 7850 kg/m^3 temos uma massa de 0,785 kg.

Para Machado (2010), o valor da frequência natural cíclica para vigas bi engastadas pode ser obtido pela equação 8.

$$f_n = \frac{22,4\sqrt{EI}}{2\pi\sqrt{ql^4}} \quad (eq.8)$$

Foi encontrado um valor de frequência natural cíclica de 25,97 Hz. Consequentemente a frequência natural, obtida pelo produto deste valor por 2π será de 163,17 rad/s.

Entretanto, observou-se que para valores de frequência entre 1500 a 1700 Hz, podem ser obtidos resultados equivalentes à resposta ao material analisado (aço carbono).

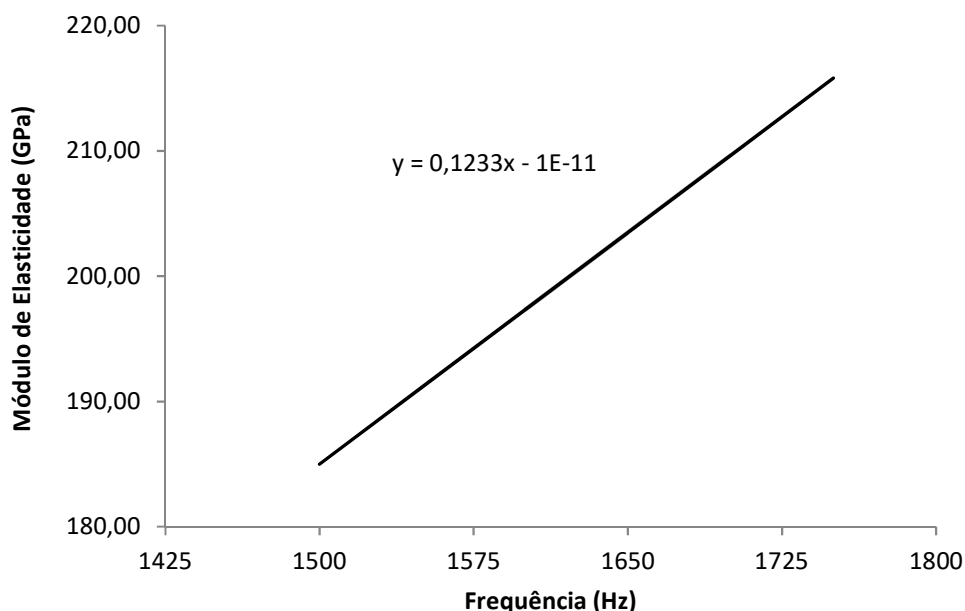
Tabela 1 – Valores calculados para o módulo de elasticidade

f (Hz)	E (GPa)
1500	184,99
1550	191,16
1600	197,32
1650	203,49
1700	209,66

Fonte: Autor

A partir de então, buscou-se tratar os dados e exprimir graficamente o resultado, cuja tendência pode ser expressa linearmente, conforme a figura 2.

Figura 12 - Análise gráfica do problema.



Fonte: Autor

Pôde-se obter uma relação entre o módulo de elasticidade, em 10^9 Pascal (GPa) e a frequência por ciclo, expressa em Hertz (Hz), apresentada por meio da equação 9.

$$E = 0,123f - 10^{-11} \quad (\text{eq. 9})$$

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O módulo de elasticidade longitudinal, também universalmente conhecido como módulo de Young é determinado através de ensaios de materiais utilizando-se corpos de prova, por meio de ensaios de tração. Uma proposta de cálculo por meio de análise de vibrações pode auxiliar como uma possibilidade alternativa para sua obtenção.

Pôde-se levantar uma equação que exprime matematicamente o modelo de viga estudado e observou-se que para valores nas faixas de 1500Hz a 1700Hz foram encontrados valores compatíveis aos do aço. Estudos similares podem ser realizados para outros tipos de vigas, em diferentes configurações.

A modelagem feita em um problema estaticamente determinado possibilitou a identificação da deflexão e, conseqüentemente, a obtenção dos valores da rigidez equivalente, o que permitiu determinar as faixas de frequências correspondentes às frequências naturais e estimação do módulo de elasticidade longitudinal.

Observou-se que o estudo converge para a dinâmica atual e avanços nos campos tecnológicos, tendo em vista a utilização cada vez maior e variada de materiais nos projetos de engenharia, sendo necessárias novas metodologias para a obtenção das propriedades mecânicas dos materiais empregados.

Espera-se que este trabalho possa contribuir para que mais estudos sejam desenvolvidos no campo da análise de vibrações mecânicas em estruturas e que auxilie na modelagem matemática e experimental de problemas similares e avanços no desenvolvimento de problemas teórico-experimentais.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Thales Novaes. Aspectos Sociais e Tecnológicos das atividades de inovação. Lua Nova, São Paulo, 66: 139-166, 2006.
- BEER, Ferdinand P.; E. JOHNSTON, Russell Jr., DEWOLF, John T.; MAZUREK, David. F.. Mecânica dos Materiais. 7. ed. McGraw-Hill, 2015.
- CASTELLS, Manuel. A sociedade em rede. (Trad. de Roneide Majer). São Paulo: Paz e Terra, 1999.
- CISMAS,IU, Cornélio. Notas de vibrações mecânicas. Capítulo 6. Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia. Portugal, 2009.
- CORREIA, A. A. Dinâmica. Vibrações de sistemas com um grau de liberdade. Instituto Superior Técnico de Lisboa. Portugal, 2007.
- GUANABARA, Matheus Kerkhoff. Trabalho de conclusão de curso de engenharia civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto alegre, 2010.
- LATOUR, Bruno Aramis ou l'amour des techniques. Paris: La Découverte, 1992.
- LINDBECK, John R. *Product Design and Manufacture*. EUA: Prentice Hall, 1995. 392.
- MACHADO, Flávia Gandra. Estudo do comportamento de fundações submetidas a vibrações de máquinas. Dissertação (mestrado em engenharia civil). UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2010.
- MACIEL, Maria Lúcia. O milagre italiano: Caos, crise e criatividade. Brasília: Paralelo 15, 1996.
- MARTINS, Hermínio (Org.). Dilemas da civilização tecnológica. Lisboa: ICS, 2003.
- NICOLETTI, Renato Silva; PRESOTO, Adilson Eduardo. Equacionamento do método dos elementos finitos através da álgebra linear e suas aplicações na análise estrutural. Revista Brasileira de Iniciação Científica. v. 5, n.3, p. 96-129, abr./jun. Itapetininga. Brasil, 2018.

PARREIRA, Rui Manuel Ribeiro. Dissertação de mestrado em Estatística e Gestão de Informação. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa. Portugal, 2009.

PICCOLLI, Humberto Camargo. Mecânica das Vibrações. Unidade 1 – Introdução ao estudo de vibrações. Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Departamento de Materiais e Construção. Disponível em: http://www.roltechengenharia.com/pdfs/aula_vibacao_1.pdf. Último acesso em 03 de julho de 2010.

RAO, Singiresu. Vibrações Mecânicas. São Paulo: Pearson, 2014. 424p.

SCHELESKI, Samuel. Seleção de materiais no projeto de máquinas agrícolas. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em engenharia mecânica. Faculdade de engenharia e arquitetura. Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2014.

TRIGUEIRO, Michelangelo Giotto. O clone de Prometeu. Brasília: UnB, 2002.